INSTITUUT VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING
NOTA 375 dd. januari 1967

Gebiedsregenval en regenmetergegevens

W.C. Visser

Doelstelling

Bij het bewerken van vraagstukken over de afvoer van stroomgebieden komt men telkens weer voor het probleem te staan, hoe men de regenhoeveelheid, die op een gebied valt, kan afleiden uit de regenval die met regenmeters op een zeer klein vlakje wordt opgevangen. Veel onderzoek is verricht over de nauwkeurigheid van regenmeting. Het belang hiervan is echter niet zo groot als het wel lijkt. Wanneer men met regenfrequenties werkt van neerslagsommen, die in een aantal regenstations zijn gemeten, dan valt veel van de toevallige meetfout weg in het gemiddelde van dit grotere aantal stations en blijft van die fout nog minder effect over in de kansverdeling van de neerslagen over vele jaren. Wanneer men de fout van de regenmeter op 10% stelt en de spreiding van de regenintensiteit over de jaren op 5 mm voor een dagregenval, dan is bij een regenintensiteit van 10 mm de fout in de waarneming gelijk 1 mm. Omdat men de fouten gekwadrateerd mag optellen, zou de invloed I van de regenmeting op de spreiding dus gevonden worden uit:

$$I = \sqrt{\frac{5^2 + 1^2}{5}} = 1.02$$

De meetfout van 10% van de gemeten dagregenval veroorzaakt maar een 2% grote toename van de spreiding. Nu kan men andere berekeningen en getallen toepassen, maar dit zal weinig wijziging brengen in de uitspraak, dat de meetfout die bij analyses zoveel moeilijkheden kan geven, bij de toepassing van regengegevens op de vraagstukken van een ontwerp van weinig belang is.

Er zijn echter andere vragen en wel de volgende:

1. Neemt de gebiedsregenval sterk of weinig sterk af met toenemende grootte van het gebied;
2. Heeft de gemiddelde dagregenval een cirkelvormige geografische verdeling of heeft deze een gerekte vorm;
3. In geval van een gerekte vorm, hoe is de richting van de langste dimensie ten opzichte van de gemiddelde windrichting;
4. Bestaat een nauwe of losse samenhang tussen de regen op twee verschillende meetpunten en hoe neemt deze nauwkeurigheid van de samenhang af met de afstand.

Voordat deze punten toegelicht worden, mag voorop gesteld worden, dat het beschikbaar zijn van waarnemingen van dagregenvallen over vele jaren het noodzakelijk maakt, van deze 24 uur regenhoeveelheden uit te gaan en niet van de individuele regenbuien. Maar veelal denkt men bij het punt van de

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

afname van de regenval met toenemende afstand in termen van locale zomeronweersbuien tegenover regen in de brede regenfronten van de herfst. Velen zullen verwachten, dat bij een gegeven regen op het meetstation de gebiedsregen in de zomer van veel kleiner omvang zou zijn dan in de herfst.

Ten aanzien van het tweede punt zal wel het vermoeden bestaan, dat de regenbuien van ZW naar NO trekken en dus lijnen van gelijke regenintensiteit in de windrichting een meer gerekte vorm zullen hebben dan daar loodrecht op.

Voor punt drie zal dan het antwoord zijn, dat een stroomgebied met een ZW-NO gerichte vorm een hogere afvoerprognose zal geven dan een gebied met een NW-ZO gerichte vorm.

Ten aanzien van punt vier ligt het belang in de vraag hoe groot een gebied zal zijn, waarvan men mag aannemen dat een enkel meetstation voor toepassing een voldoende betrouwbare maatstaf kan geven. Wanneer de correlatie tussen de regencijfers van twee stations boven een zekere afstand te gering zou worden, dan zou men voor de toepassing in een ontwerp, dat zich tot buiten deze cirkel uitstrekt, de resultaten van een ander station moeten gaan gebruiken.

Analyse en toepassing

In het voorgaande werd verschil gemaakt tussen de analyse van een samenhang en de toepassing op een project. Het volgende mag dit verduidelijken:

Wanneer men van een beek dagafvoeren heeft gemeten en wil weten, hoe die afvoeren samenhangen met de regen op dezelfde en voorafgaande dagen, dan is het zaak, dat men van die dagen over het stroomgebied verdeeld, betrouwbare regencijfers heeft. Elke fout in de meting en elke tekortkoming in de dichtheid van het net van meetpunten zal bij een dergelijke analyse een nadeel zijn.

Kent men deze samenhang en vraagt men zich op grond daarvan af, welke dimensie de beek moet worden gegeven om hoge waterstanden of inundaties binnen redelijke grenzen van veelvuldigheid van voorkomen te houden, dan gaat het over het ontwerpen van een toekomstige toestand, waaromtrent nog geen metingen kunnen bestaan en waarvoor men een frequentie van voorkomen als maatstaf moet gebruiken. Aangegeven werd reeds, dat de meetfout tegenover de spreidingsmaat van deze frequentieverdeling er niet toe doet. Deze toekomstige frequentie raakt een totaal ander probleem, dat met nauwkeurigheid weinig te maken heeft en meer door de invloeden van vele omstandigheden

zal worden beheerst.

Wanneer de beek zo wordt gedimensioneerd, dat ongewenste toestanden zich maar eens per 10 jaar voordoen, dan kan na het gereedkomen van de beek de afvoer die men niet meer kan beheersen zich nog hetzelfde jaar voordoen, maar het kan ook wel 30 jaar duren. In het eerste geval heeft men de uitgaven gedaan en heeft niettemin schade, in het tweede geval heeft men het geld 30 jaar lang in de zak kunnen houden, zonder dat dat nadelen gaf. Het tweede geval is achteraf veel beter uitgekomen dan het eerste, zonder dat men mag concluderen, dat het besluit tot verbetering in het eerste geval, vooraf beschouwd, onjuist zou zijn geweest.

Hieruit mag blijken, dat het voor toepassing in ontwerpen gebruiken van regengegevens geen vragen van waarnemingsnauwkeurigheid stelt maar van kansen en dat het onderzoek naar de samenhang tussen deze kansen op gebiedsneerslagen en de grootte van het gebied voor de ontwerpvraagstukken van belang zijn.

Gebruikte gegevens

Om de gebiedsneerslag voor het gebied van de Achterhoek wat beter te leren kennen, werden de regenvalwaarden van de 17 aanwezige waarnemingsstations - waarvan negen juist buiten de grens van de Achterhoek - met elkander gecorreleerd. De berekening werd beperkt tot de regenhoeveelheden van de dagen waarop deze op dezelfde dag bij geen van de stations kleiner waren dan 0.5 mm. De lengte van de waarnemingsreeks werd bepaald door het station met het kortste tijdvak van opname. De gegevens werden daarom bewerkt voor het tijdvak 1-7-'56 tot 31-12-'65. Dit tijdvak is wat kort gebleken, maar het werd van meer belang geacht met een groter aantal stations te werken over een kortere duur, dan met langere tijdreeksen en minder stations.

De correlaties werden voor elke maand afzonderlijk bepaald voor alle 136 combinaties van twee stations en tevens werd hun onderlinge richting en afstand vastgesteld. Zet men vanuit een centraal punt deze richting en afstand uit en noteert men bij dat punt de correlatiecoëfficiënt, dan verkrijgt men het beeld van fig. 1. De richting en afstand komen steeds twee maal voor, van station A naar B en van B naar A, zodat elk punt en elke correlatiecoëfficiënt een radiaal symmetrische tegenhanger heeft. Grafisch werd door deze figuur een aantal lijnen van gelijke gemiddelde correlatiecoëfficiënt getrokken. Zoals voor november weergegeven bleken dit ongeveer

confocale ellipsen te zijn met een hoofdas die wat minder dan 30° noordelijker wijst dan de oost-richting. De grootste afstand - tussen de stations Herwen en Hengelo - is ongeveer 70 km. Dit geeft een indruk van de mate, waarin de correlatiecoëfficiënt voor deze maand met toenemende afstand van gemiddeld 0.93 tot 0.83 afneemt.

Wijze van vereffenen

Bij de grafische bewerking van de gegevens voor enkele maanden werd de indruk verkregen dat de ellipsen een klokvormig ruimtelichaam beschreven, dat op een toevalsfiguur geleek, mits men maar vanaf een basisvlak rekende dat boven het vlak voor de correlatie gelijk nul gelegen was. Als vereffeningsfunctie werd daarom gekozen:

$$z - f = e^{-(ax^2 + bxy + cy^2 + d)}$$

Hierin is:
- z. de waarde van de gemiddelde correlatiecoëfficiënt op afstand x, y van het nulpunt
- f. de hoogte van het basisvlak
- x. de afstand oost-west in km
- y. de afstand noord-zuid in km
- a, b, c. constanten die de vorm van de ellips aangeven
- d. constante die met $z = f + e^{-d}$ de hoogste gemiddelde correlatiecoëfficiënt voor x en y gelijk nul aangeeft.

De constanten a b c d en f werden door vereffening bepaald, waarbij de fout werd geacht geheel aan de z te mogen worden toegeschreven. In het volgende overzicht zal het resultaat niet worden weergegeven door deze constanten, maar door de in de figuur zichtbare eigenschappen. Weergegeven wordt de spreiding van de z-waarden om het klokvormige vlak door getallen voor de middelbare fout van de enkele waarneming. De vorm van de ellipsen wordt voorgesteld door de verhouding van hoofdas tot korte as en de richting van de hoofdas. De klokvorm wordt weergegeven door de hoogte van het basisvlak van de top en door de correlatiecoëfficiënt op 50 km afstand.

De spreiding ten opzichte van het klokvormige vlak

De grootte van de middelbare afwijking van de correlatiecoëfficiënten ten opzichte van het berekende vlak wordt weergegeven in fig. 2. Uit de onregelmatige ligging van de stippen in de figuur blijkt dat de waarnemingsreeks nog wel wat te kort is, maar een aanwijzing, dat in de zomermaanden

de correlatiecoëfficiënten zich wat slechter aan het vlak aanpassen, lijkt er wel in te zitten. Omdat in dat tijdvak hogere regenintensiteiten optreden, die een nauwkeuriger berekening van de correlatiecoëfficiënt mogelijk maken, moet men uit de figuur wel een aanwijzing putten, dat niet de korte reeks oorzaak is, maar dat in de zomer de regen wat grilliger over het gebied verdeeld is. Men zal hier geneigd zijn, aan een combinatie van regenbuien van verschillende aard, als onweersbuien en frontregens, te denken. Wel blijft een herhaling van het onderzoek met een groter cijfermateriaal een eerste voorwaarde om tot een conclusie te kunnen komen over de aard en oorzaak van de afwijkingen.

De vorm van het gebied met hoge correlaties

In figuur 3 vindt men de richting van de hoofdas van de ellipsen en de asverhouding weergegeven. De hoofdas heeft voor de meeste maanden een richting die gemiddeld 15° noordelijker is dan oost. Dit wijst op een invloed van de gemiddelde windrichting. In juli en augustus blijkt de berekening een richting van 30° zuidelijker dan oost weer te geven. Hier denkt men minder spoedig aan de windrichting, maar een andere verklaring doet zich niet overtuigend voor. Van belang is, dat in deze maanden waarin wateroverlast zeer schadelijk is, volgens fig. 3 stroomgebieden met een richting die 30° zuidelijker is dan oost, wat meer gevaar op inundatie lopen dan in andere maanden van het jaar. Deze ongunstige geografische richting wordt echter wat genivelleerd door de vorm. De regens in juni tot augustus hebben een bijna ronde vorm, terwijl de winterregens met asverhoudingen tot 3 veel langgerekter zijn. De betekenis van deze richting en assenverhouding wordt duidelijk, wanneer men de ellipsen voor de correlaties gelegd denkt op de kaart van een langgerekt stroomgebied met willekeurige richting en nagaat, hoeveel oppervlak de ellipsen met hoge correlaties en hoeveel die met lagere correlaties uit het stroomgebied uitsnijden. De hoge correlaties betekenen in het traject van grote regenvalcijfers voor het punt van de regenmeter meer regen voor het gehele gebied dan de lage, en naarmate een groter oppervlak van de hoge correlaties binnen de configuratie van het stroomgebied valt, zal de gebiedsregenval wat groter zijn. Omdat echter de oppervlakten binnen de ellipsen zo groot zijn tegenover de oppervlakten van de Nederlandse stroomgebieden, mag de betekenis echter niet te hoog worden aangeslagen.

De hoogte van de gemiddelde correlatiecoëfficiënt

De relatie tussen de gebiedsregen en de regenval op de regenmeter wordt door drie kenmerkende getallen weergegeven. De berekende maximale correlatie vindt men voor x en y gelijk nul en

$$z = f + e^{-d}$$

De minimale correlatie vindt men weergegeven door de hoogte van het basisvlak f. De uitgebreidheid van het gebied omgrensd door een bepaalde correlatie wordt tenslotte aangegeven door de hoogte van de correlatiecoëfficiënt op 50 km van het nulpunt op de hoofdas. Fig. 4 geeft van deze drie criteria een overzicht.

Opnieuw valt op, dat in de maanden juni tot augustus de correlaties laag zijn en de regen dus grillig verdeeld is. Gezien de lage waarden voor de top laat deze grillige regenverdeling reeds op korte afstand zijn invloed gelden. De zeer lage ligging van het basisvlak wijst uit, dat wanneer de regenmeter een regenbui van een zekere intensiteit opvangt, elders in Nederland de regenintensiteit in de zomer elke willekeurige waarde kan aannemen. In de winter daarentegen wijst een lichte of een zware bui op de regenmeter met een zekere waarschijnlijkheid op lichte of zware buien ook elders in het land.

De correlatiecoëfficiënt op 50 km afstand van het centrale punt wijst tenslotte op dezelfde regelmaat in de regen in de winter en grilligheid in de zomer. De voor de landbouw belangrijke regencijfers in de oogsttijd zullen door een wijd net van regenstations veel minder nauwkeurig worden weergegeven dan de veel minder belangrijke winterregens. Om landbouwkundige vragen op te lossen zal een dichter net van stations nodig zijn dan om winterafvoerproblemen te bestuderen.

De nauwkeurigheid van de regenmeter

De nauwkeurigheid van de regencijfers wordt beheerst door obstakels in de omgeving van de regenmeter, die door dwarrelwinden de regenverdeling verstoren. Daarnaast zijn werkelijke variaties in de regenverdeling van belang, die in afhankelijkheid van de onderlinge afstand bij de twee elkander controlerende meters zullen optreden. Deze regenmeters zouden die ongelijkheid ook registreren bij een geheel vlakke, geen turbulentie veroorzakende omgeving en met de afstand toenemende verschillen zouden ook dan optreden.

Men kan dit afstandseffect bij gelijke omgeving zonder moeite voor een foutenbepaling uitschakelen door de meters dicht bijeen te plaatsen. Maar het omgevingseffect bij toenemende afstand laat zich niet uitschakelen, omdat bij verschillende afstand slechts moeilijk gelijke omgevingssituaties te scheppen zijn. Bij dit type van correlatie-onderzoek over zeer verschillende afstand laat zich nu echter door interpolatie de correlatie bepalen bij een afstand nul en een omgeving die dezelfde variabiliteit heeft als alle voorkomende omgevingen. Men zou de correlatiecoëfficiënt voor de punten x en y gelijk nul nu een indicatie van de fout van de opstelling kunnen noemen. Deze blijkt van 0.93 in de wintermaanden tot 0.80 aan het eind van de zomer te dalen, om in september weer te gaan stijgen. Deze fout op grond van de omgeving is blijkbaar niet onaanzienlijk en de omstandigheid, dat deze fout van maart tot augustus regelmatig toeneemt suggereert dat een veranderlijke omgeving ten gevolge van de groeiende gewassen rondom de regenmeter de nauwkeurige werking steeds meer belemmert. In de herfst doen de menselijke ingreep in de groei van het gewas en het tot stilstand komen van de groei en afvallen van het blad de meetnauwkeurigheid weer toenemen. De lage correlatiecoëfficiënt wijst erop dat onze regenstations niet zo heel doelmatig in het landschap opgesteld zijn.

Bepaling van de gebiedsreducties

De reductie, welke men zou moeten toepassen om de waarnemingen met de regenmeter om te zetten in de gebiedsregenval, zou men uit vereffende regressies hebben moeten berekenen. Maar voor regressies ligt een vereffeningsformule minder voor de hand dan voor correlaties, zodat de berekening via correlaties werd uitgevoerd. Ook de beperkte reekslengte was aanleiding de nadruk meer op het verkrijgen van een inzicht dan op een kwantificering te leggen. De vraag hoe men de gebiedsregenval zou moeten berekenen is overigens wat onoverzichtelijk. Voor technieken als de Tiesen-berekening heeft men uitgevoerde regenmetingen nodig, die voor een analyse van belang zijn. Voor de uitvoering van projecten gaat het er echter veelal om, uit een enkele meting de verdeling van de regen te voorspellen, ook op plaatsen waar geen metingen zijn gedaan.

Men kan nu de volgende redenering volgen:
Men mag aannemen dat de regenhoeveelheid op de verschillende stations gelijk zou zijn, indien niet een aantal spreidingsoorzaken een toevallige

variatie deden ontstaan. De gelijke hoeveelheid bij afwezigheid van spreidingsinvloeden wil zeggen, dat de beide regressietangenten gelijk zullen zijn en dat de correlatiecoëfficiënt onder deze omstandigheden kwantitatief gelijk is aan de regressiecoëfficiënt. De regressielijnen snijden elkaar in het gemiddelde punt van de spreidingsellips en dit gemiddelde punt geeft bij de in Nederland heersende gelijkmatigheid in de gemiddelde jaarlijkse regenhoeveelheid de in getalwaarden gelijke regenhoeveelheid in het nulpunt $\overline{N}_o$ en in het willekeurige punt $\overline{N}_i$ weer.

Voor de regenval N_i geldt dan:

$$N_i - \overline{N}_i = r_i (N_o - \overline{N}_o) \qquad \overline{N}_i = \overline{N}_o = \overline{N}$$

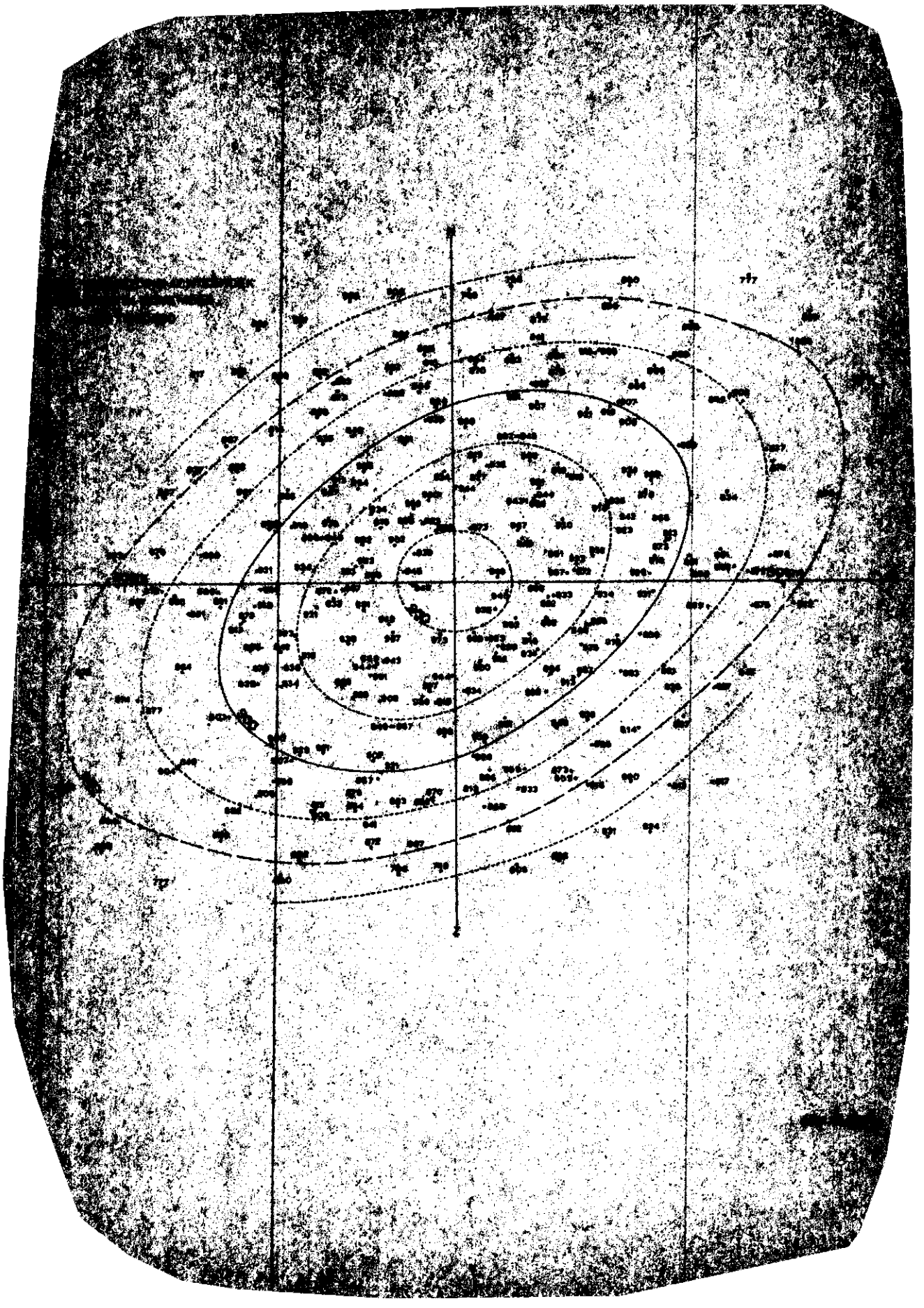
$$N_i = r_i N_o + (1 - r_i) \overline{N}$$

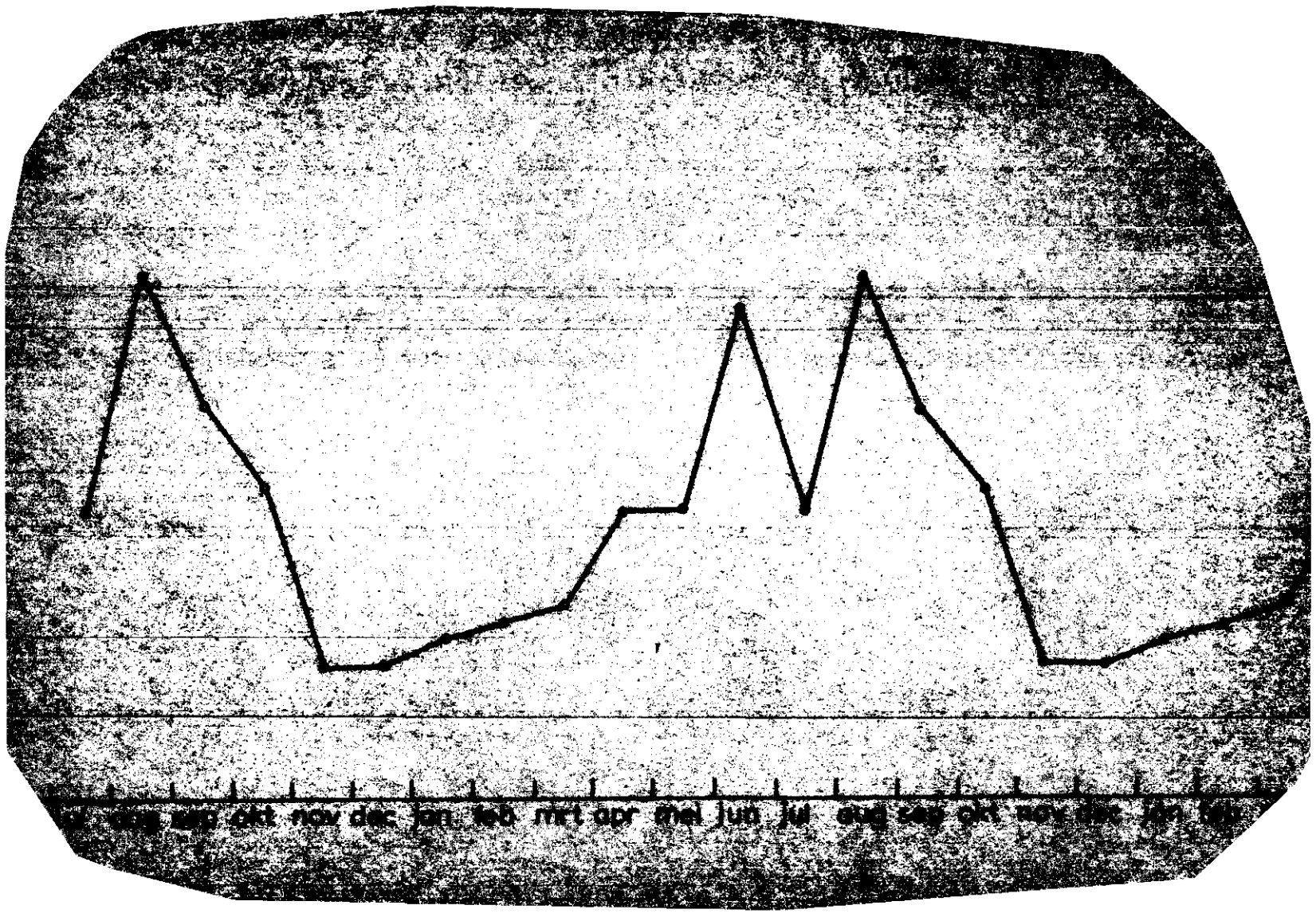
Veronderstelt men dus een bepaalde regenhoeveelheid in het nulpunt, waarvoor men het zwaartepunt van een stroomgebied zal kiezen, dan kan men door gebruik te maken van de gemiddelde regenval N en de ellipsen van gelijke correlatiecoëfficiënt r ook ellipsen van gelijke regenhoeveelheid construeren en door integratie van de regenhoeveelheid die binnen de opeenvolgende ellipsen en binnen de omtrek van het stroomgebied valt uitmaken, hoe groot de gebiedsregenval is in vergelijking tot de puntregenval. De grafieken geven alle gegevens die nodig zijn om een dergelijke berekening uit te voeren.

Conclusies

Het onderzoek wijst uit dat de configuratie van de afname van de correlatiecoëfficiënten de gelijkmatigheid van de regenverdeling in Nederland duidelijk weergeeft. De variaties in de regenval krijgen alleen over zeer grote gebieden enige betekenis. De Nederlandse stroomgebieden zijn in dit opzicht relatief klein en het regenpatroon is dus maar van beperkt belang. Meestal zal men wel mogen aannemen, dat de grootte van het stroomgebied geen betekenis heeft voor de grootte van het regenbezwaar. Wel van belang is, dat in de maanden mei tot september de maximale correlaties die voor kleine gebieden rondom het nulpunt gelden, laag zijn. Hieruit moet men afleiden, dat voor deze maanden ook over gebieden van beperkte omvang en vrijwel onafhankelijk van die omvang de gebiedsneerslag aanmerkelijk kleiner zal zijn dan de puntneerslag. De zware regenbuien, die in deze maanden

met grotere frequentie plegen op te treden, worden door de regenmeterwaarnemingen overschat. Berekent men een project op een bepaalde zware regenbelasting die met een geringe frequentie voorkomt, dan betekent deze lage zomercorrelatie dat men in werkelijkheid met een grotere zekerheid werkt dan die waarop de berekening zich baseerde. Dit wil zeggen, dat het niet in aanmerking nemen van deze correlatie de strekking heeft projecten te kostbaar te maken.




okt nov dec jan feb mrt apr mei jun jul aug sep okt nov dec jan